

# Studi Eksperimental *Vertical Axis Wind Turbine* Tipe Savonius dengan Variasi Jumlah *Fin* pada Sudu

Ola Dwi Sandra Hasan, Ridho Hantoro, Gunawan Nugroho

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

Email: hantoro@ep.its.ac.id

**Abstrak**—Salah satu teknologi sistem konversi energi angin yang ada adalah turbin Savonius yang merupakan salah satu jenis *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT). Turbin Savonius memiliki karakteristik *strating* torsi yang baik, mudah dalam pementannya dan dapat menerima angin dari segala arah namun kekurangan yang dimiliki adalah *coefficient of power* ( $C_p$ ) turbin yang rendah. Untuk itu banyak dilakukan penelitian untuk meningkatkan efisiensi dari turbin Savonius. Salah satunya adalah penambahan *end plate* yang mampu meningkatkan perbedaan tekanan dari kedua sisi sudu sehingga memperbesar *drag* positif turbin. Untuk itu pada penelitian ini dilakukan variasi jumlah penambahan *fin* pada sudu. Variasi jumlah *fin* yang dilakukan adalah 1,2,4 dan 7 *fin* serta pengujian dengan menggunakan generator dan tanpa generator. Dari hasil pengujian, variasi *fin* yang dapat meningkatkan  $C_p$  turbin Savonius adalah variasi 1 *fin* jika dibandingkan turbin standarnya dengan nilai  $C_p$  sebesar 0,11. SKEA turbin Savonius menggunakan generator 12 V;400W dapat menghasilkan daya maksimal 5,71 Watt pada putaran 134 rpm.

**Kata Kunci**—*Fin*, *Coeficient Perfomance*, Savonius, Turbin

## I. PENDAHULUAN

SALAH satu teknologi Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) yang telah lama digunakan adalah *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT). Salah satu jenis yang tertua dari VAWT yaitu tipe Savonius [1]. Turbin ini telah banyak dipelajari sejak tahun 1920 sampai saat ini oleh banyak peneliti. Cara kerja dari VAWT Savonius ini sendiri berdasarkan perbedaan dari gaya *drag* yang mengenai permukaan setengah lingkaran dari rotor. Jumlah dari gaya *drag* yang mengenai inilah yang bila bernilai positif akan mampu memutar poros turbin.

Banyak kelebihan yang dimiliki turbin angin jenis ini yaitu seperti dapat menerima angin dari segala arah, mudah dan murah dalam pembuatannya, dan dapat berputar pada kecepatan angular yang cukup rendah [1]-[2]. Namun, desain standar dari VAWT tipe Savonius masih memiliki efisiensi yang rendah dibanding dengan jenis VAWT yang lain.

Sejak ditemukan sampai saat ini telah banyak penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dari VAWT tipe Savonius. Para peneliti melakukan studi eksperimental dengan melakukan beberapa modifikasi VAWT dari desain

standarnya. Bentuk modifikasi yang dilakukan adalah mengubah bentuk sudu yang berupa setengah lingkaran menjadi *twist*, menambah jumlah sudu dari 2 menjadi 3 sudu bahkan lebih, jarak pemisah antar sudu divariasikan dan beberapa modifikasi yang dilakukan. Modifikasi yang dilakukan untuk meningkatkan kecepatan angular dan torsi maksimal yang dapat dihasilkan oleh turbin Savonius. Hasil dari penelitian tersebut menjadi langkah yang penting dalam peningkatan performansi turbin Savonius [3]. Beberapa modifikasi yang dilakukan seperti *helical* rotor dan *twisted blade* yang mampu meningkatkan torsi statis dan *coefficient of power* dari turbin Savonius namun kekurangannya adalah desain rotor yang kompleks dan biaya yang mahal dalam pembuatannya. Kemudian menambahkan *guide box tunnel* yang mampu meningkatkan *coefficient of power* turbin sebesar 27 % namun kekurangan yang dimiliki adalah desain *guide box tunnel* yang kompleks dan biaya pembuatan mahal.

Hingga saat ini usaha untuk meningkatkan performansi dari turbin Savonius terus dilakukan. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan penambahan asesoris pada sudu turbin berupa *fin* yang jarak dan jumlahnya akan divariasikan. Hal ini dilakukan untuk melihat pengaruh dari penambahan *fin* yang ditambahkan pada rotor turbin Savonius.

Tugas akhir ini dilakukan dengan membuat turbin Savonius yang kemudian dilakukan pengujian lapangan dengan penambahan *fin* pada sudunya. Dengan data hasil pengukuran langsung di lapangan kemudian digunakan untuk menganalisis performansi dari masing-masing variasi *fin* sehingga didapatkan konfigurasi yang paling optimal. Selain itu juga dilakukan analisa terhadap kemampuan *self start* dari turbin yang ditimbulkan masing-masing variasi serta analisa terhadap koefisien daya yang dihasilkan dari daya *shaft* turbin yang dihasilkan dengan model matematika *single stream tube*.

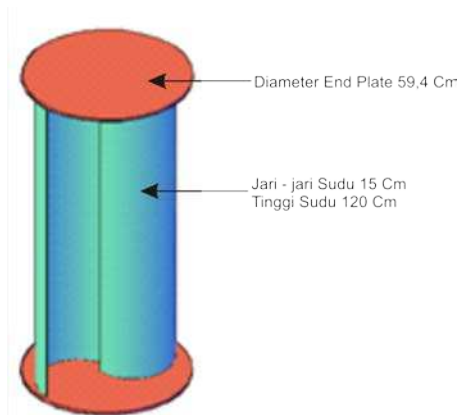
## II. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Alur Penelitian

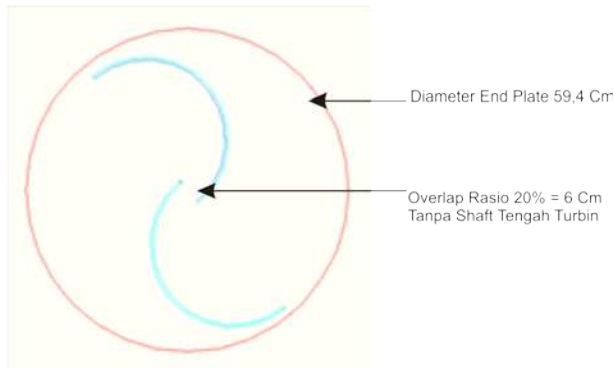
Pengerjaan tugas akhir ini dimulai dengan studi literatur. Ini dilakukan untuk mempelajari teori-teori yang berhubungan dengan turbin Savonius dan modifikasi VAWT Savonius yang pernah dilakukan serta pengaruh masing-masing modifikasi pada performansi turbin angin. Hasil studi literatur

Tabel 2.  
Perancangan Turbin Angin Savonius

Spesifikasi	Nilai
Tinggi sudu	1,2 meter
Jari-jari dalam sudu	0,15 meter
Endplate ratio	1,1
Overlap ratio	20%
Massa masing-masing sudu	1,3 kg
Bahan Sudu	Komposit ( <i>Fiberglass, resin</i> )
Jumlah sudu	2 buah
Tinggi menara	3 meter



Gambar. 1. Desain turbin Savonius tampak dari samping.



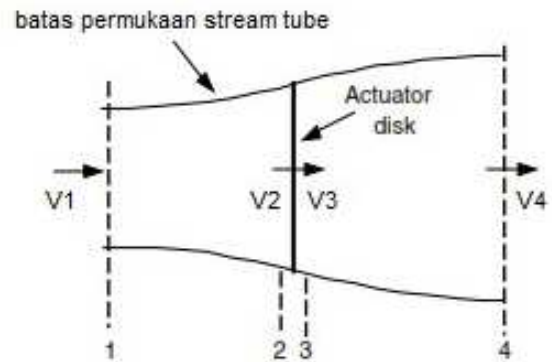
Gambar. 2. Desain turbin Savonius tampak dari atas.

yang telah dilakukan digunakan sebagai dasar penentuan geometri dan spesifikasi turbin angin Savonius.

Visualisasi dari desain yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2 berikut ini,

Dari spesifikasi yang telah ditentukan maka proses fabrikasi dapat dilakukan. Proses fabrikasi dilakukan di Workshop Energi Angin PLTH Bantul, Yogyakarta. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian dan pengambilan data melalui pengukuran kecepatan angin dengan rentang 1–5 m/s, kecepatan angular dari prototipe turbin Savonius, tegangan dan arus yang dihasilkan generator. Pengambilan data dilakukan di pinggir pantai Baru, Bantul, Yogyakarta. Data kecepatan angular hasil pengukuran selanjutnya digunakan untuk mengetahui nilai TSR melalui persamaan berikut ini,

$$TSR = \frac{2\pi N}{60} \quad (1)$$



Gambar 3. Model dari rotor turbin pada single stream tube;  $V$  adalah kecepatan angin.

dimana  $N$  adalah kecepatan angular dalam rpm. Kemudian dari data pengukuran selanjutnya digunakan untuk mengetahui *coefficient of power* ( $C_p$ ) yang menunjukkan persen daya yang dapat diekstrak dari perbandingan daya *shaft* turbin dengan daya angin. Nilai  $C_p$  didapatkan melalui persamaan berikut ini,

$$C_p = \frac{P_{shaft}}{P_{angin}} = \frac{T\omega}{\frac{1}{2}\rho AV^3} \quad (2)$$

dimana  $T$  adalah torsi dalam Nm,  $\omega$  adalah kecepatan angular dalam rad/s dan  $V$  adalah kecepatan angin dalam m/s [4]. Kemudian dari pengukuran kecepatan angin di bagian depan turbin ( $V_1$ ) dan kecepatan angin di belakang turbin ( $V_4$ ) maka selanjutnya akan digunakan untuk mengetahui *coefficient of power* ( $C_p$ ) dengan model matematika *single stream tube*.

Analisa ini mengasumsikan sebuah kontrol volume yang berasal dari batas permukaan dari *stream tube* dan 2 bagian dari *stream tube* tersebut [5]. Turbin direpresentasikan sebagai *actuator disk* yang menghasilkan perbedaan tekanan dari titik 2 bagian *stream tube* akibat udara yang melewatinya yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Dari data pengukuran  $V_1$  dan  $V_4$  selanjutnya digunakan untuk menentukan kecepatan angin yang melewati turbin ( $V_2$ ) dengan persamaan berikut ini,

$$V_2 = \frac{V_1 + V_4}{2} \quad (3)$$

dari persamaan diatas kecepatan angin yang melewati turbin pada sisi *upstream* dan *downstream* dapat didefinisikan sebagai *axial induction factor* ( $a$ ) sehingga didapatkan persamaan berikut ini,

$$a = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \quad (4)$$

Performansi dari rotor turbin dapat direpresentasikan dengan *coefficient of power* ( $C_p$ ) melalui persamaannya berikut ini,

$$C_p = 4a(1-a)^2 \quad (5)$$

dimana  $a$  adalah *axial induction factor* yang diketahui dengan persamaan (4).



Gambar. 4. Hasil fabrikasi turbin Savonius; (a) turbin Savonius standar (b) variasi fin yang dilakukan.

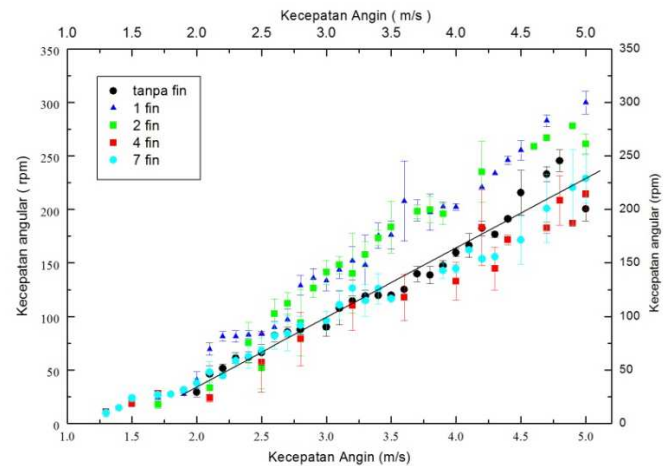


Gambar. 5. Turbin Savonius yang dipasang menjadi plant SKEA yang diletakkan di lokasi pengujian.

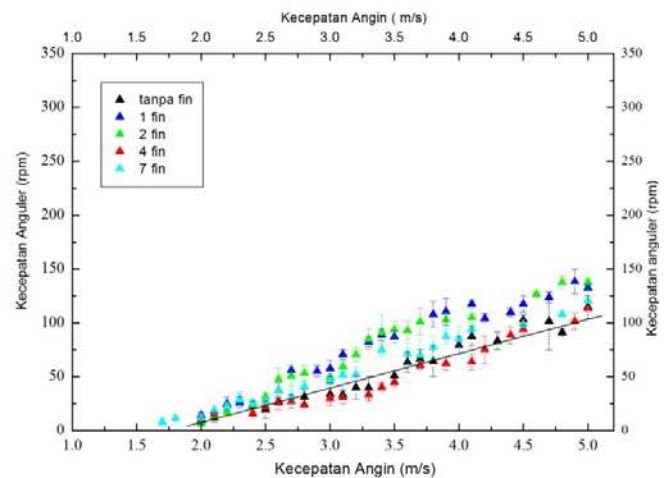
### B. Fabrikasi dan Pengujian VAWT Savonius

Dalam tahap dilakukan pembuatan turbin Savonius berdasarkan spesifikasi dari desain yang telah dibuat. Kemudian dilanjutkan dengan memasang keseluruhan bagian menjadi sebuah plant Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) yang diletakkan pada lokasi pengujian yang telah ditentukan yaitu di pesisir pantai Baru, Bantul.

Pada Gambar 4 merupakan hasil fabrikasi turbin Savonius yang telah dibuat sesuai dengan desain. Prototipe turbin Savonius yang telah dibuat dipasang pada tower *triangle* dengan ketinggian 3 m dari permukaan tanah. Pemasangan turbin diatas tower ditunjukkan pada Gambar 5 berikut ini,



Gambar. 6. Kecepatan angular pada variasi pengujian tanpa generator sebagai fungsi kecepatan angin.



Gambar. 7. Kecepatan angular pada variasi pengujian dengan generator sebagai fungsi kecepatan angin.

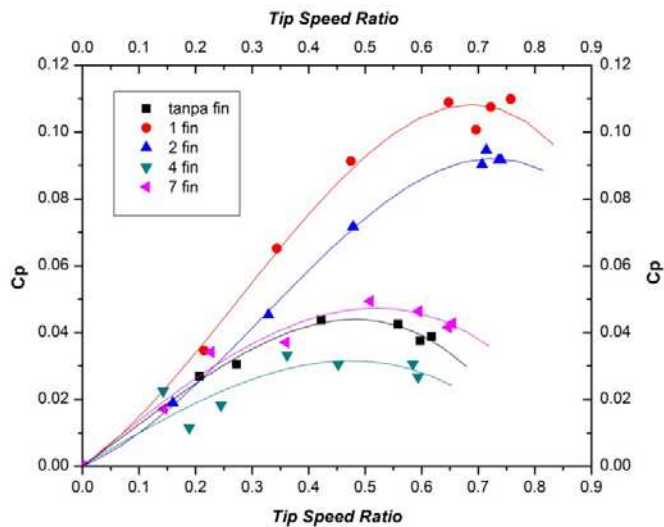
## III. HASIL DAN DISKUSI

### A. Pengaruh Variasi Fin Terhadap Performansi Dari Turbin Savonius

Performansi dari turbin Savonius ditunjukkan dengan kecepatan angular yang dihasilkan dan *coefficient of Power* ( $C_p$ ) pada masing-masing variasi. Data tersebut dilakukan pada pengukuran dengan rentang kecepatan angin 1-5 m/s. Parameter yang diperhatikan pada ini sub bab ini adalah rpm *shaft* rotor dan kecepatan angin. Pengujian dilakukan dengan menggunakan generator dan tanpa menggunakan generator.

Kecepatan angular yang dihasilkan masing-masing variasi pada pengukuran tanpa menggunakan generator ditunjukkan Gambar 6 kemudian pengukuran selanjutnya menggunakan generator. Data yang dihasilkan masing-masing variasi ditunjukkan pada Gambar 7.

Dari Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan bahwa dari pengujian tanpa *fin* ke 1 *fin* mengalami peningkatan kecepatan angular *shaft*. kemudian variasi 2 *fin* mengalami penurunan dibandingkan variasi 1 *fin* namun jika dibandingkan dengan variasi tanpa *fin* mengalami kenaikan.



Gambar. 8. Perbandingan *Coefficient performance* ( $C_p$ ) dari masing-masing variasi

lalu variasi 4 *fin* mengalami penurunan dibandingkan variasi tanpa *fin* dan pada variasi 7 *fin* mengalami kenaikan kecepatan angular pada *shaft* turbin dibandingkan variasi 4 *fin* namun hampir sama dengan variasi tanpa *fin*.

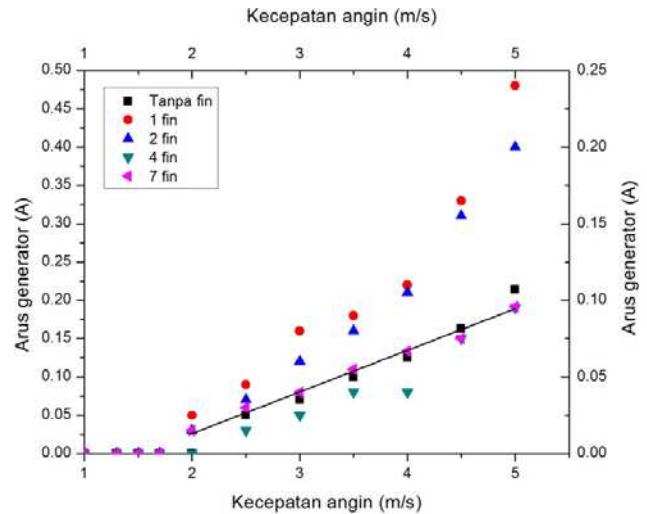
Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan didapatkan *coefficient of power* ( $C_p$ ) yang ditunjukkan pada gambar 8. Nilai *coefficient of power* ( $C_p$ ) tertinggi dihasilkan variasi 1 *fin* sebesar 0,11 atau 11 %. Kemudian pada variasi 2 *fin* menghasilkan  $C_p$  sebesar 0,10 atau 10 %. Pada variasi 4 *fin* mampu menghasilkan  $C_p$  sebesar 0,03 atau 3 % dan pada variasi 7 *fin* menghasilkan  $C_p$  sebesar 0,05 atau 5 %. Kemudian dari hasil pengukuran didapatkan *coefficient of power* ( $C_p$ ) untuk variasi tanpa *fin* sebesar 0,04 atau 4 %.

Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak *fin* yang terpasang akan memperkecil *drag* positif yang bekerja pada rotor turbin. Dengan menambahkan *fin* maka akan memperbesar luasan ruang dalam sudu dan juga memperbesar tekanan disepanjang luasan sudu. Peningkatan gaya *drag* yang diakibatkan peningkatan tekanan dan luasan sudu turbin terjadi di kedua sisi sudu sehingga perbedaan tekanan yang dihasilkan dari kedua sudu semakin kecil ketika jumlah *fin* yang ditambahkan semakin banyak. Untuk itu penambahan 1 *fin* mampu menghasilkan gaya *drag* positif yang paling besar.

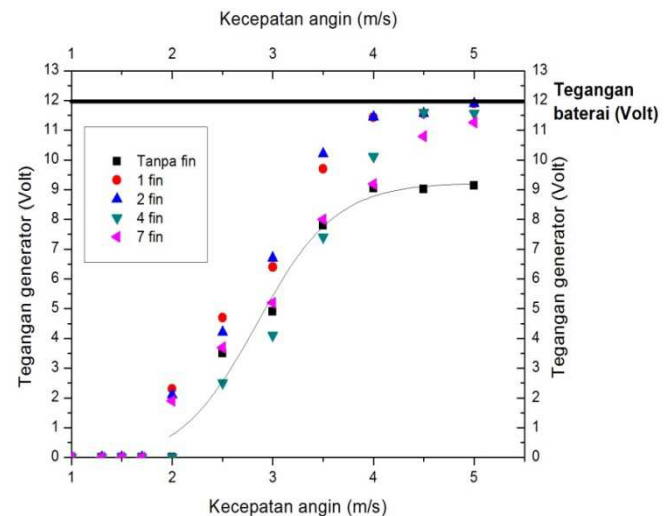
#### B. Pengaruh Variasi Jumlah Fin Terhadap Daya yang Dihasilkan

Daya yang dihasilkan didapatkan dari pengukuran tegangan dan arus yang dikeluarkan oleh generator. Pada pengukuran ini menggunakan generator dengan spesifikasi daya maksimal 400 W dan 12 V. Pengambilan data dilakukan pada rentang kecepatan angin 1- 5 m/s. Data hasil pengukuran arus dan tegangan dari generator ditunjukkan pada gambar 9 dan gambar 10.

Dari gambar 9 menunjukkan bahwa variasi 1 *fin* menghasilkan arus generator yang paling besar dibandingkan dengan pengujian yang lain dengan nilai 0,48 A pada



Gambar. 9. Data arus yang dikeluarkan oleh generator sebagai fungsi kecepatan angin.

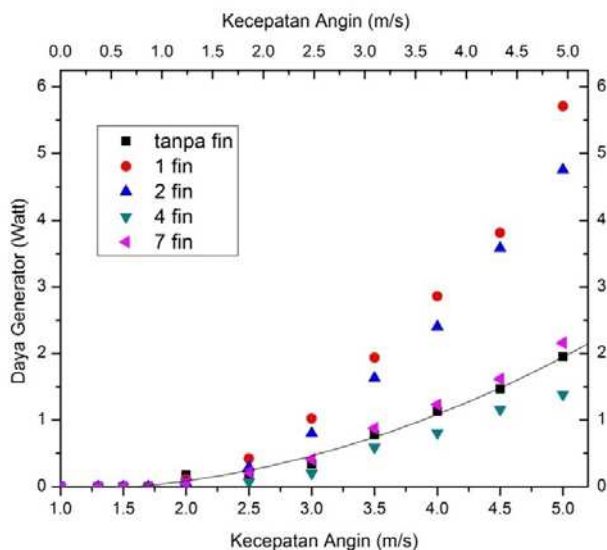


Gambar. 10. Tegangan yang dikeluarkan oleh generator sebagai fungsi kecepatan angin.

kecepatan angin 5 m/s.

Kemudian variasi 4 *fin* menghasilkan arus generator paling kecil dibandingkan dengan variasi pengujian yang lainnya dengan nilai 0,12 A pada kecepatan angin 5 m/s.





Gambar 11. Daya yang dikeluarkan oleh generator pada masing-masing variasi pengujian.

Kemudian pada Gambar 10 menunjukkan nilai tegangan paling besar dihasilkan oleh variasi 1 *fin* dengan nilai 11,89 Volt pada kecepatan angin 5 m/s dan variasi tanpa *fin* menghasilkan tegangan paling kecil dengan nilai 9,14 volt pada kecepatan angin 5 m/s..

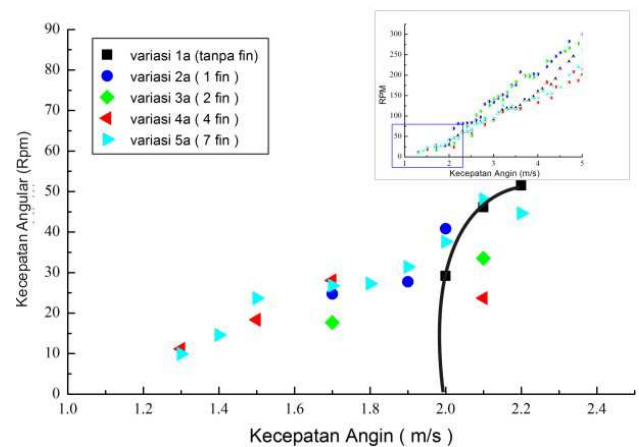
Dari Gambar 11 menunjukkan daya tertinggi yang dihasilkan pada variasi 1 *fin* sebesar 5,7 watt, kemudian variasi 2 *fin* menghasilkan daya sebesar 4,8 Watt. Lalu selanjutnya variasi 7 *fin* yang menghasilkan daya sebesar 2,2 Watt, kemudian variasi tanpa *fin* menghasilkan daya sebesar 1,9 Watt lalu pada variasi 4 *fin* menghasilkan daya terendah sebesar 1,4 watt. Hal ini sebanding dengan rpm *shaft* yang dihasilkan karena semakin besar rpm maka daya yang dihasilkan generator semakin besar. Ini sesuai dengan karakteristik dari generator.

### C. Pengaruh Varisi Jumlah Fin Terhadap Self Starting Turbin Savonius

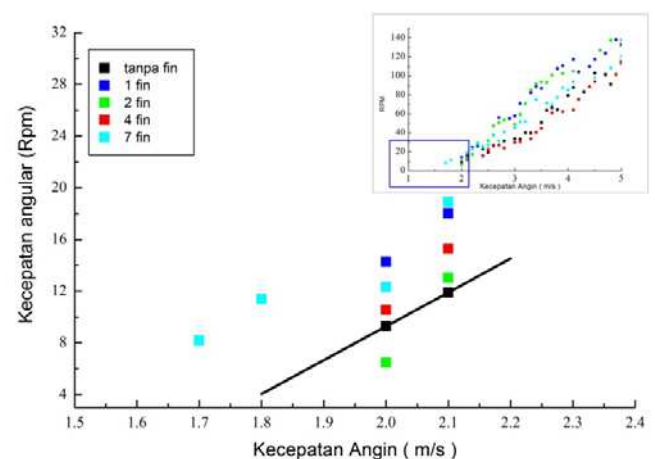
*Self starting* merupakan kemampuan turbin untuk berakselerasi dari keadaan diam sampai bisa berotasi. Kelebihan ini dimiliki oleh turbin Savonius yang dapat mengalami *self start* pada kecepatan angin yang rendah.

Pada sub bab ini membandingkan *self starting* masing-masing variasi dalam kondisi tanpa beban generator dan dengan beban generator. *Self starting* tersebut diamati saat turbin Savonius mulai menghasilkan kecepatan angular pada kecepatan angin tertentu.

Dari hasil pengukuran tanpa menggunakan generator ditunjukkan pada Gambar 12 terlihat bahwa variasi 7 dan 4 *fin* telah mengalami *self start* lebih cepat yaitu pada kecepatan angin 1,3 m/s. Untuk variasi 1 dan 2 *fin* mengalami *self start* pada kecepatan angin 1,7 m/s. Variasi tanpa *fin* self start pada kecepatan angin 2 m/s. Kemudian pada Gambar 13 yang menunjukkan bahwa pada pengukuran dengan generator maka variasi *fin* sebanyak 7 buah lebih cepat mengalami *self start* pada kecepatan angin 1,7 m/s. sedangkan variasi yang lainnya mengalami *self starting* pada kecepatan angin 2 m/s.



Gambar 12. Kecepatan angular awal dari variasi pengujian tanpa menggunakan generator sebagai fungsi kecepatan angin.

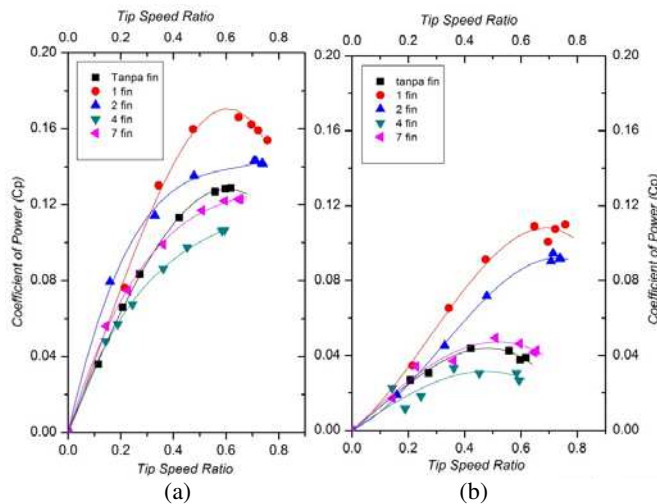


Gambar 13. Kecepatan angular awal yang dihasilkan pada variasi pengujian dengan menggunakan generator sebagai fungsi kecepatan angin.

Ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah *fin* yang ditambahkan akan meningkatkan kemampuan *self starting* dari turbin Savonius. Hal ini dikarenakan pengaruh luasan ruang yang dibentuk dari antar *fin*. semakin banyak *fin* terpasang maka luas ruang antar *fin* menjadi lebih kecil. Hal ini menyebabkan energi angin yang masuk ke dalam ruangan semakin terpusat dan menghasilkan tekanan yang lebih besar. Karena pertambahan besarnya gaya yang dihasilkan sebanding dengan kenaikan tekanan yang terjadi pada luasan tersebut. Sehingga gaya *drag* pada keadaan akan bergerak yang dihasilkan lebih besar ketika *fin* yang dipasang semakin banyak.

### D. Coefficient of Power ( $C_p$ ) dengan menggunakan Single Stream Tube Analysis

*Single stream tube* analisis merupakan analisa yang mengasumsikan sebuah control volume yang berasal dari batas permukaan dari *stream tube* dan 2 bagian dari *stream tube* tersebut. Dari model matematika sederhana ini dapat diketahui performansi dari turbin. Pada sub bab ini akan dibandingkan *coefficient of power* ( $C_p$ ) dari hasil eksperimen dan *coefficient of power* ( $C_p$ ) menggunakan model perhitungan *single stream tube* analisis.



Gambar. 14. *Coefficient of power (Cp) single stream tube (SST) dengan Cp eksperimen sebagai fungsi TSR; (a) Cp SST (b) Cp eksperimen.*

Dari Gambar 14 memperlihatkan *coefficient of power (Cp)* dengan perhitungan *single stream tube* lebih tinggi dibandingkan dengan Cp eksperimen. Dari pola keseluruhan memiliki kesamaan yaitu pengujian 1 *fin* menghasilkan Cp paling besar sebesar 0,17 dan variasi 4 *fin* menghasilkan Cp yang paling kecil sebesar 0,11. Dari keseluruhan nilai *coefficient of power (Cp)* yang menggunakan perhitungan *single stream tube* menghasilkan nilai Cp yang lebih tinggi dibandingkan dengan hasil pengujian lapangan.

Hal ini dikarenakan perhitungan dengan menggunakan *single stream tube* menggunakan asumsi-asumsi yang cenderung ke keadaan ideal seperti aliran udara yang homogen, aliran udaranya tunak, dan tidak ada *frictional drag*. Sedangkan pada kondisi pengujian lapangan keadaan tersebut sulit untuk dicapai sehingga terdapat hilangnya energi yang dihasilkan cukup besar pada pengujian lapangan. Hal ini mengakibatkan nilai Cp eksperimen yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan Cp dengan menggunakan perhitungan SST. Namun dengan melihat **gambar 14** menunjukkan bahwa pola yang sama pada variasi pengujian pada Cp eksperimen dan Cp SST yaitu variasi 1 *fin* menghasilkan nilai Cp yang paling besar dan Cp yang paling rendah adalah variasi 4 *fin*.

#### IV. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Peningkatan kecepatan rotasional terbesar adalah pada plant turbin Savonius dengan variasi penambahan *fin* sebanyak 1 *fin*. Penurunan kecepatan rotasional terbesar adalah pada variasi penambahan *fin* sebanyak 4 buah.
2. VAWT Savonius dengan penambahan sebanyak 7 *fin* mempercepat kemampuan *self start* turbin paling besar.
3. *Coefficient of Power (Cp)* dari turbin Savonius yang tertinggi dihasilkan oleh pengujian 1 *fin* dengan nilai Cp 0,11 atau 11 % dan variasi yang menghasilkan Cp terendah adalah variasi 4 *fin* dengan nilai Cp sebesar 0,03 atau 3 %.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis Mengucapkan terima kasih kepada Workshop PLTH Bantul, Yogyakarta yang telah membantu dalam pembuatan dan pengujian turbin Savonius.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] J.V. Akwa, H.A. Vielmo, A.P. Petry, "A review on the performance of savonius wind turbines," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, pp 3054-3064, March 2012.
- [2] M.H. Mohamed, G. Janiga, E. Pap.D. Thevenin, "Optimization of Savonius turbines using an obstacle shielding the returning blade," *Renewable Energy*, vol. 35, pp. 2618-2626, May 2010.
- [3] B.D. Altan, M. Atilgan, "The use of a curtain design to increase the performance level of a Savonius wind rotors," *Renewable Energy*, vol. 35, pp. 821-829, September 2009.
- [4] U.K. Saha, S. Thotla, D. Maity, "Optimum design configuration of Savonius rotor through wind tunnel experiments," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 96, pp. 1359-1375, May 2008.
- [5] H. Beri, Y. Yao, "Double multiple stream tube model dan numerical analysis of vertical axis wind turbine," *Energy and Power Engineering*, vol. 3, pp. 262-270, July 2011.